

# 浮栅 ROM 集成电路空间低剂量率辐射失效时间预估

何宝平 郭红霞 龚建成 王桂珍 罗尹虹 李永宏

(西北核技术研究所, 西安 710024)

(2003 年 11 月 13 日收到, 2003 年 12 月 29 日收到修改稿)

利用<sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线开展了浮栅 ROM 集成电路(AT29C256)总剂量辐照实验,研究了集成电路功耗电流和出错数在不同剂量率下的辐射响应,按照定义的失效标准和外推实验技术,探索了集成电路参数失效与功能失效时间随辐射剂量率的变化关系;根据失效时间与辐射剂量率的函数关系,预估了浮栅 ROM 集成电路 AT29C256(9911)和 AT29C256(9939)空间低剂量率辐射失效时间.

关键词:低剂量率,辐射损伤,失效时间,总剂量

PACC:6180E,6170A

## 1. 引 言

大规模集成电路的总剂量辐射效应近年来一直是国外辐射效应研究领域的热点<sup>[1-4]</sup>,而国内在小规模电路的效应机理、实验测量以及模拟方法等方面取得了一定的成绩<sup>[5-8]</sup>,但对于大规模集成电路的总剂量效应研究目前尚处于起步阶段.浮栅 ROM 集成电路(主要是 FLASH ROM 和 EEPROM)在单一的工作电压下,就可以完成读出、擦除和写入功能,克服了原有只读存储器(ROM)的不足,而且和静态随机存取存储器(SRAM)相比,其存储的数据是非挥发性的,即使掉电,也不会丢失数据.因此,浮栅 ROM 集成电路已广泛应用于航天器在内的各领域的电子系统中,开展浮栅 ROM 集成电路的总剂量辐射效应研究具有重大的现实意义和应用价值.在进行总剂量实验研究中,由于浮栅 ROM 集成电路其集成度高,采用传统的方法测量内部某个晶体管的敏感参数(如阈值电压)是不太容易,所以我们在进行辐射实验时,利用电流测试系统和存储器辐照效应测试系统在线监测功耗电流和存储单元中的出错数,探索功耗电流和出错数随辐射剂量率的变化关系.研究利用实验室剂量率来预估大规模集成电路浮栅 ROM 集成电路(AT29C256)空间低剂量率的生存能力的大小.

## 2. 辐射实验

辐照实验在西北核技术研究所的 4000 居里 Co-60 $\gamma$ 源上进行,辐照温度为室温,利用 UNIDOS 剂量仪标定的辐照剂量率有:50rad(Si)/s,16.56rad(Si)/s,2.93rad(Si)/s,0.26rad(Si)/s 四种.实验电路为浮栅 ROM 集成电路 AT29C256,分两类:一类为 AT29C256(9911),另一类为 AT29C256(9939).辐照前每个字节写入数据“55H”,即“0”与“1”相互间隔.在加电(+5V)状态下辐照,用存储器辐照效应测试系统和电流测试系统动态连续、实时地监测被测电路的功能和功耗电流的大小,实时读取数据,统计出错误单元的数量和功耗电流值,辐照结束后,继续室温在线监测 0.5h.

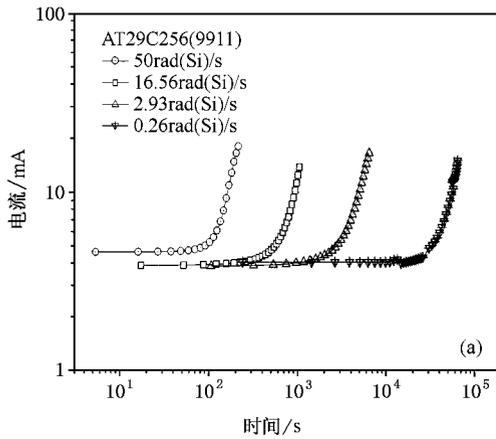
## 3. 实验结果

### 3.1. 总剂量辐射效应

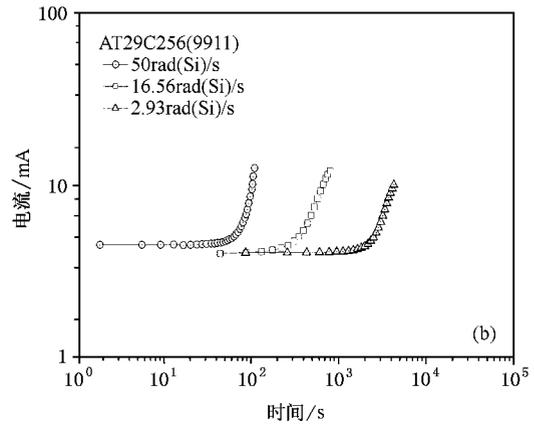
根据我们以往的研究了解到,受辐射的非加固 CMOS 器件,能够在栅氧化层中诱导产生氧化物陷阱电荷累积,这种累积的电荷能够引起 CMOS 晶体管阈值电压发生漂移.但是,辐射同样也会在场氧化层中发生氧化物陷阱电荷的积累,这样的电荷积累

导致器件漏电发生增加.因此,对于许多非加固的集成电路来讲,功耗电流是一个敏感的辐射损伤参数.本文把功耗电流作为浮栅 ROM 集成电路一个辐射敏感参数,来研究其总剂量辐射效应.同时,利用存储器测试系统实时、在线监测集成电路出错数与辐照剂量的变化,研究电路功能与辐照剂量的关系.图

1和图2分别给出了浮栅 ROM 集成电路 AT29C256 在不同剂量率辐照下,功耗电流和出错数随时间的变化关系.因为集成电路辐照后第一个测量点的功耗电流与辐照前相比,基本没发生变化,它可以反应电路辐照前的电流情况,故图1中没有给出辐照前的数据点.图2给出的是辐照后翻转数与时间的变

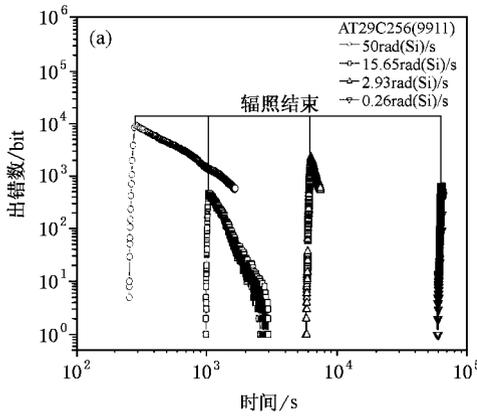


(a) AT29C256(9911)

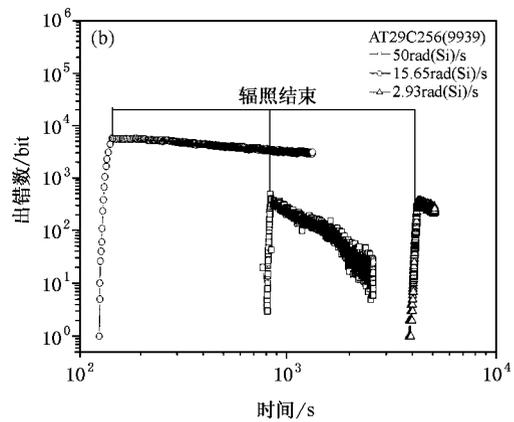


(b) AT29C256(9939)

图1 不同剂量率辐照下,AT29C256 功耗电流随辐照时间的变化关系



(a) AT29C256(9911)



(b) AT29C256(9939)

图2 不同剂量率辐照下,AT29C256 出错数随辐照时间的变化关系

化关系,因为辐照前电路的翻转数为零.

从图1、图2中可以看出,剂量积累到一定程度,功耗电流逐渐增大,当电流增大到一定程度时,出现数据错误.电路出现数据错误有个累积剂量阈值,当累积剂量小于某一个值时,无数据错误.当累积剂量达到一定值时,开始出现数据错误.随着累积剂量的增加,错误数迅速增加.功耗电流和出错数都随着辐照时间的增加而逐渐增加,但是,当辐照结束时,出错数随着时间的增加而降低.

### 3.2. 空间低剂量率辐射损伤时间预估

实验室条件下我们研究不同剂量率下的辐射响应,目的是确定电路在剂量率降低的辐射响应趋向.本文介绍了一种利用实验室高剂量率辐射实验数据来外推空间低剂量率的辐射响应方法.该方法的主要思想是:根据定义的失效判据,将每一种剂量率辐射结果外推到失效定义值,可以得到不同剂量率辐射下的失效时间.然后将失效时间拟合剂量率

的函数,进而可以预估空间低剂量率的失效时间.在本项研究中,定义浮栅 ROM 集成电路(AT29C256)失效判据:功耗电流超过 100mA 或者出错数超过 10% 为失效,也就是说,出错数超过 25600 为失效.图 3(a)(b)分别给出了 AT29C256(9911)集成电路不同剂量率辐照下,功耗电流和出错数的拟合、外推以及失效时间的提取过程.根据定义的失效判据,将从图 3(a)(b)中提取出不同剂量率辐照下的失效时间进行拟合,得到如下方法:

$$T = 10^{(A \log(D) + B)}, \quad (1)$$

其中  $T$  代表失效时间, $D$  代表辐照剂量率  $\text{rad(Si)/s}$ , $A, B$  为常数,见表 1.按照同样的方法对 AT29C256

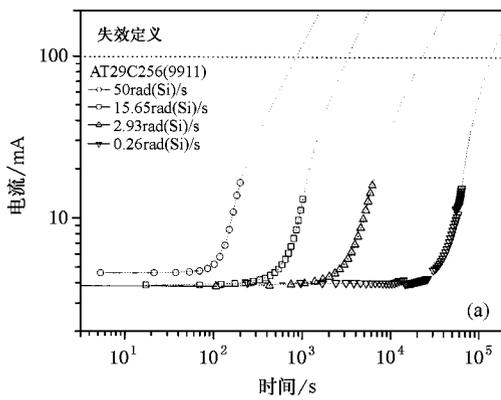
(9939) 集成电路(图 1(b)图 2(b))所示进行处理,得到的  $A, B$  常数见表 2.

表 1 对 AT29C256(9911)集成电路而言,方程(1)的常数

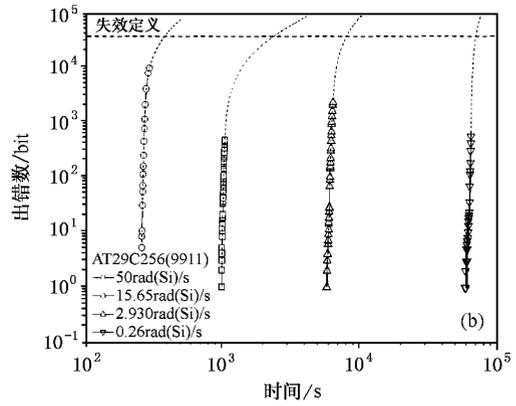
参数	常数 A	常数 B
功耗电流/mA	-0.967	4.643
出错数/%	-0.970	4.297

表 2 对 AT29C256(9939)集成电路而言,方程(1)的常数

参数	常数 A	常数 B
功耗电流/mA	-1.01	4.75
出错数/%	-0.957	4.54



(a) 功耗电流



(b) 出错数

图 3 不同剂量率辐照下,实验数据的拟合和外推结果

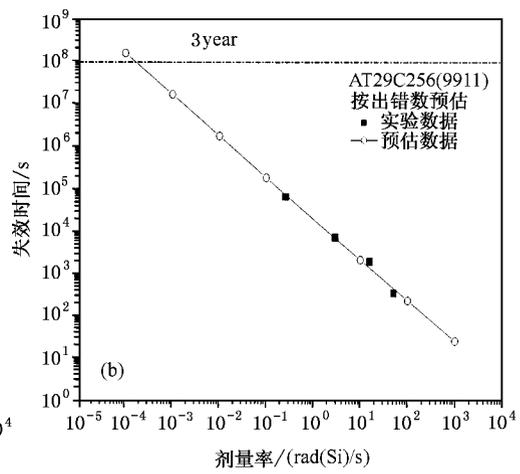
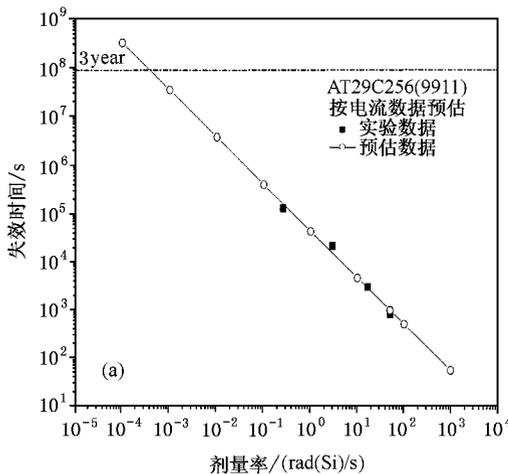


图 4 失效时间随辐射剂量率的变化

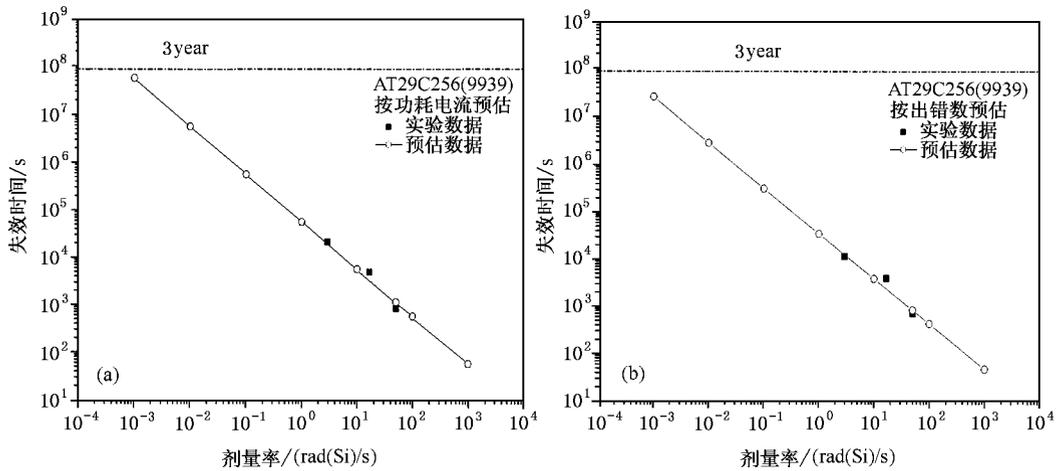


图5 失效时间随辐射剂量率的变化

利用方程(1)和表1、表2中的数据,给出了浮栅ROM集成电路AT29C256(9911)和AT29C256(9939)失效时间随辐照剂量率的关系,见图4。对于典型的 $10^{-3} \text{ rad(Si)/s}$ 空间剂量率,AT29C256(9911)电路,按照功耗电流数据预估电路的失效时间约为 $3.4 \times 10^7 \text{ s}$ ,按照出错数预估电路的失效时间约为 $2.0 \times 10^7 \text{ s}$ ;AT29C256(9939)电路,按照功耗电流数据预估电路的失效时间约为 $5.62 \times 10^7 \text{ s}$ ,按照出错数预估电路的失效时间约为 $2.84 \times 10^7 \text{ s}$ 。

## 4. 结 论

对于大规模集成电路浮栅ROM集成电路

AT29C256(9911)和AT29C256(9939),在我们并不详细了解其辐射损伤机理的情况下,在实验室根据不同剂量率辐射的功耗电流和出错数,利用外推法可以预估集成电路在空间低剂量率的辐射损伤时间,对于典型的 $10^{-3} \text{ rad(Si)/s}$ 空间剂量率,对AT29C256(9911)集成电路而言,按照功耗电流数据预估的失效时间约为 $3.4 \times 10^7 \text{ s}$ ,按照出错数预估的失效时间约为 $2.0 \times 10^7 \text{ s}$ 。对AT29C256(9939)集成电路而言,按照功耗电流数据预估的失效时间约为 $5.6 \times 10^7 \text{ s}$ ,按照出错数预估的失效时间约为 $2.84 \times 10^7 \text{ s}$ 。本文只是给出了一种大规模集成电路(浮栅ROM电路)的低剂量率的预估结果,实际上,该预估方法,普遍适用于非加固集成电路。

- [1] Fleetwood D M and Winokur P S 1989. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **36** 1963
- [2] Fleetwood D M and Winokur P S 1991. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **38** 1552
- [3] Brown D B and Jenkins W C 1989. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **36** 1954
- [4] Jenkins W C and Martin R C 1991. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **38** 1560

- [5] Zhang T Q et al 1999. *Acta Phys. Sin.* **48** 2299 (in Chinese) [张廷庆等 1999. *物理学报* **48** 2299]
- [6] Fan L et al 2000. *Chin. J. Semicond.* **21** 383 (in Chinese) [范隆等 2000. *半导体学报* **21** 383]
- [7] He B P et al 2003. *Acta Phys. Sin.* **52** 188 (in Chinese) [何宝平等 2003. *物理学报* **52** 188]
- [8] He B P et al 2003. *Acta Phys. Sin.* **52** 2239 (in Chinese) [何宝平等 2003. *物理学报* **52** 2239]

# Prediction of failure time for floating gate ROM devices at low dose rate in space radiation environment

He Bao-Ping Guo Hong-Xia Gong Jian-Cheng Wang Gui-Zhen

Luo Yin-Hong Li Yong-Hong

( *Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China* )

( Received 13 November 2003 ; revised manuscript received 29 December 2003 )

## Abstract

The experiments of ionizing radiation were performed on floating gate ROM devices by using  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays. The experimental aim was to examine the radiation response at various dose rates. According to the extrapolation technique and the failure criteria we defined, the parameter failure and function failure of devices vs. dose rate were studied. Finally, based on the function of failure time vs. dose rate, the failure time of floating gate ROM device in space radiation environment was predicted.

**Keywords** : low dose rate , radiation damage , failure time , total dose

**PACC** : 6180E , 6170A